

УДК 621.9

Е.Ю. Барбанова, Н.Г. Ярушкина

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ САМ-ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СКОЛЬЗЯЩИХ АППРОКСИМАЦИЙ<sup>1</sup>

**Барбанова Елена Юрьевна**, инженер-технолог 1 категории Службы главного технолога ФНПЦ АО «НПО «Марс», аспирант кафедры «Информационные системы» Ульяновского государственного технического университета. Имеет публикации в области автоматизации процессов управления технологической подготовки производства. [e-mail: mars@mv.ru].

**Ярушкина Надежда Глебовна**, доктор технических наук, профессор, окончила радиотехнический факультет Ульяновского государственного технического университета. Первый проректор – проректор по научной работе УлГТУ. Имеет более 250 работ в области мягких вычислений, нечеткой логики, гибридных систем. [e-mail: jng@ulstu.ru]

### Аннотация

В данной работе предложена новая измеримая оценка результативности процесса обучения САМ-обработке на основе предложенного коэффициента эффективности. Описаны существующие подходы к оценке эффективности обучения, применимые для общего случая. Обоснована необходимость проектирования собственного подхода к оценке результативности САМ-обучения с применением методов интеллектуального анализа временных рядов. Разобраны особенности создания специализированного курса обучения САМ-специалистов с его оценкой. Определена метрика САМ-обработки, применимая как при разработке курса обучения, так и при последующей оценке его результативности. Проверены выдвинутые гипотезы на реальных данных в ходе практического эксперимента с апробацией разработанной модели. Помимо этого, рассмотрены особенности разработки рабочей учебной программы для обучения студентов машиностроительного направления, а также предложена модель процесса анализа результативности САМ-обучения с применением модифицированного преобразования скользящих аппроксимаций, САП-трансформ (Moving Approximation Transform, MAP).

Ключевые слова: результативность, САМ-обучение, модель процесса, управляющие программы.

## ESTIMATION OF CAM-EDUCATION EFFECTIVENESS WITH THE USE OF THE MODIFIED MOVING APPROXIMATION TRANSFORM

**Elena Iurevna Barabanova**, Postgraduate Student at the Department of Information Systems of Ulyanovsk State Technical University; Industrial Engineer at the Department of Chief Industrial Engineer of Federal Research-and-Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of automation of control processes of operations planning. e-mail: mars@mv.ru.

**Nadezhda Glebovna Yarushkina**, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering at Ulyanovsk State Technical University; First Vice-Rector – Vice-Rector for Scientific Affairs of Ulyanovsk State Technical University; an author of more than 250 papers in the field of soft computing, fuzzy logic, and hybrid systems. e-mail: jng@ulstu.ru.

### Abstract

This article offers the new measured estimation of CAM-processing teaching on the basis of the proposed efficiency coefficient. The authors describe the existing approaches to estimation of education effectiveness in general case. The necessity of designing the approach to efficiency estimation of CAM-education with the use of methods for time series data mining is proven. The features of creation of the special education course for CAM-specialists with its estimation are investigated. The CAM-processing metric applied either in education course development or the subsequent estimation of

<sup>1</sup> Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований в рамках выполнения проекта № 16-47-732120 «Исследование и разработка математических моделей, алгоритмов, программных систем автоматизированного проектирования и информационно-измерительных комплексов сложных технических и производственно-технологических систем (на примере авиастроения и авиаприборостроения)».

its effectiveness is defined. The proposed hypotheses were checked with the use of real data in the practical experiment on the developed model approbation. Moreover, the features of developing the efficient educational program for teaching mechanical engineering students were considered. The model of CAM-education effectiveness estimation with the use of the modified Moving Approximation Transform was proposed.

Key words: effectiveness, CAM-education, process model, control program.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на большинстве современных производств имеет место острый дефицит квалифицированных специалистов в области САМ (Computer-aided Manufacturing). Под термином Computer-aided manufacturing (CAM) понимают как программы, используемые технологами-программистами для подготовки управляющих программ (УП) для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), так и сам процесс автоматизированной технологической подготовки производства.

Для организации эффективного процесса обучения важную роль играет адекватная оценка результативности обучения, причем такая оценка динамически изменяется и представляет собой временной ряд (ВР), включающий точки измерения обученности. Процесс обучения обладает объективной неопределенностью, что затрудняет как оценку достигнутых результатов, так и прогноз процесса обучения. Все чаще используются интеллектуальные методы, которые расширяют классическую классификацию прогностических методов в ходе обучения специалистов. Исследования данных методов анализа в последние десятилетия оформились в виде отдельного направления, называемого Times-Series Data Mining. В работах ряда зарубежных ученых [1–3] исследованы методы нечеткой регрессии, анализа данных нечетких ВР. Данной теме посвящены также следующие работы [4–11].

## 1 СТРУКТУРА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ

В общем случае модель оценки результативности обучения можно представить как систему из взаимосвязанных элементов, представленных на рисунке 1.

Методы оценки обучения персонала можно различить по количественным и качественным характеристикам. При количественном методе результаты обучения оцениваются по таким показателям, как: общая численность обучаемых; численность обучаемых по категориям; виды форм повышения навыков; сумма денежных средств, выделенная на процесс обучения. Количественный учет результатов обучения необходим для подготовки общего баланса заказчика обучения, но он не позволяет оценить эффективность обучения персонала в плане профессиональной подготовки, ее соответствие целям обучения. С помощью качественных методов оценки результатов повышения квалификации можно определить эффективность обучения и влияние обучения на технические параметры возможного производства.

Выделяют [12, 13] четыре основных способа качественной оценки результатов профессионального обучения. При первом способе происходит оценка способностей и знаний обучаемых непосредственно в ходе или по завершению курса обучения. При использовании второго способа оцениваются профессиональные знания и навыки конкретно в условиях производства. Третий способ оценивает влияние обучения на параметры производства. Четвертый способ – это способ экономической оценки. Применяя первый способ, можно определить степень овладения профессиональными знаниями и навыками. Процедура оценки подразумевает участие, как правило, только преподавателей и слушателей; используются экзамен классической формы, «проверочные ситуации» и так далее. Непосредственный руководитель обучаемого проводит оценку профессиональных знаний и навыков в условиях производственной ситуации. Результат от полученных знаний оценивается по истечении некоторого

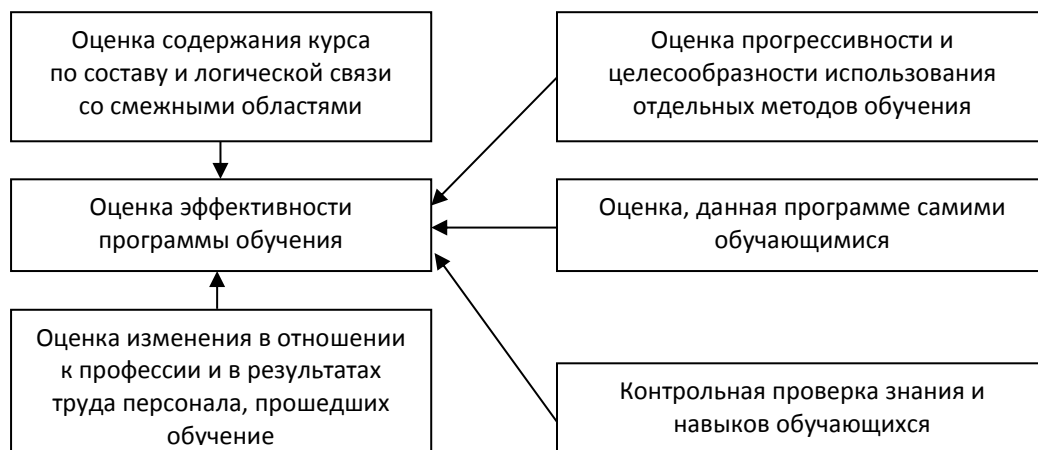


Рис. 1. Компоненты структуры оценки результативности обучения

временного интервала (шести или двенадцати месяцев) после завершения курса обучения. За этот временной промежуток проявится значимость знаний, которые приобрел обучаемый в процессе обучения. Применение этого способа поможет определить степень практического использования полученных знаний. Установление степени влияния обучения на параметры производства можно рассматривать как основной оценочный уровень, который связывает результаты обучения с требованиями, необходимыми для успешной работы и развития производства. Показатели влияния обучения на параметры производства находят свое выражение в физических величинах. Но в настоящее время отсутствуют комплексные методы анализа, применение которых позволило бы с большей точностью определить степень влияния обучения на каждый отдельный фактор. Экономическая оценка обучения персонала основана на целесообразности осуществления инвестиций в обучение, в человеческие ресурсы.

Эффективность программы обучения прямо пропорциональна сроку возможного использования полученных знаний. Создание некоторых программ обучения ставит своей задачей вовсе не выработку конкретных профессиональных навыков, а нацелено на формирование определенного типа мышления и поведения. Измерение эффективности такой программы довольно сложно произвести напрямую, так как результаты программы рассчитаны на долговременный период и связаны с поведением и сознанием людей, которые не поддаются точной оценке. В подобных случаях используются косвенные методы: проведение тестов до и после обучения, которые показывают степень увеличения знаний обучающихся; наблюдение за поведением прошедших обучение на рабочем месте; наблюдение за реакцией обучающихся по ходу программы обучения; оценка эффективности программы обучения самими обучающимися с использованием анкетирования или в ходе открытого обсуждения.

Однако приведенные и описанные выше подходы к построению самой модели оценки результативности обучения универсальны по своей сути и, как следствие, носят чрезмерно обобщенный характер, тем самым не давая возможности адаптировать их к более конкретной и узконаправленной задаче интеллектуального анализа результативности САМ-обучения.

## 2 Оценка эффективности обучения В.А. СЕЛЕЗНЕВА

Решение в этом направлении предложил В.А. Селезнев [14] в форме интегрального коэффициента оценки эффективности освоения САД/САМ-систем, а также компьютерной программы для их расчетов и обработки общих результатов по учебной группе. Особый интерес представляет предложенный автором интегральный коэффициент эффективности освоения технологического модуля компьютерной программы, который определяется по формуле:

$$KE = \frac{T_{вып} + N_{ош}}{(N_{он})^2}, \quad (1)$$

где  $T_{вып}$  – время выполнения технологической разработки в мин,  $N_{ош}$  – количество ошибок в выполненном учебном проекте, а  $N_{он}$  – количество технологических переходов (например, установить, точить, сверлить, фрезеровать, контролировать и т. п.) в результате, возведенное в квадрат.

Однако использование вышеописанного подхода возможно лишь на начальных этапах обучения, т. к. оно излишне упрощает как процесс САМ-проектирования, так и процесс обучения САМ-проектированию. Также представленный подход не позволяет отследить общую динамику и прогресс обучающихся и выявить взаимосвязь между временем работы, количеством неточностей, ошибок и ростом квалификации. Вероятно, автор и не ставил перед собой такую задачу, а работал с общими результатами по группе обучаемых.

## 3 ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ САМ-ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

### 3.1 Адаптация метода преобразования скользящих аппроксимаций, САП-трансформ (Moving Approximation Transform, MAP), к задаче оценки результативности САМ-обучения

При выборе и применении на практике методики оценки результативности САМ-обучения необходимо иметь в виду, что эффективность обучения носит динамический характер, а значит, результат обучения представляется возможным формально рассмотреть как наблюдаемую величину, а в качестве метода исследования следует воспользоваться анализом ВР. В качестве способа оценки результатов, снимаемых с наблюдаемой величины, и поиска взаимосвязей были приняты преобразования скользящих аппроксимаций, САП-трансформ (Moving Approximation Transform, MAP) [5]. Особенность преобразования MAP – инвариантность относительно линейных преобразований ВР, а также ненужность сглаживания данных. Полную информацию об ассоциациях между ВР  $y, x$  дает последовательность ассоциаций локальных трендов, посчитанных для всех размеров скользящих окон  $k = 2, \dots, n$ . Такая последовательность называется ассоциативной функцией, значения которой зависят от размера. График этой функции дает полезную информацию об ассоциациях между ВР. Можно рассматривать некоторое подмножество  $K \{2, \dots, n\}$  всех возможных окон и говорить о функции  $AFK(y, x)$ , определенной на множестве окон  $K$ . Среднее или максимальное значение этой функции может быть использовано как мера ассоциации между ВР. Ассоциативная функция позволяет выявлять положительные и отрицательные ассоциации между ВР, имеющими сложную структуру.

Для проведения наблюдения в ходе эксперимента на основе простого двухфакторного анализа эффективности процесса обучения САМ-обработки и продолжительного ведения преподавателем отчета по обучаемым студентам были выбраны следующие характеристики:

- класс сложности задания ( $K_{сл}$ );
- время выполнения задания ( $T_{вып}$ );
- количество операций в САМ-обработке ( $N_{оп}$ );
- количество неточностей и ошибок при выполнении задания (оно же качество выполнения типового задания) ( $N_{ош}$ ).

Мера же ассоциации по методу САП-трансформ определялась отношением:

$$(T_{вып} + N_{ош})/N_{оп}$$

и классом сложности задания  $K_{сл}$ . Такая структура оценки результативности позволила изучить зависимость между временем, затраченным студентом на создание САМ-программы, и его конечной квалификацией.

### 3.2 Новый алгоритм поиска недостающих данных ВР на основе САП-трансформ

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Создание метода, алгоритма поиска зависимости между нечеткими ВР на основе коэффициента корреляции.
2. Составление методики использования корреляционного анализа нечетких ВР для принятия решений.
3. Разработка архитектуры программной системы анализа многомерных ВР.

В результате был разработан алгоритм определения недостающих данных через расчет функции ассоциативности, построения на ее основе авторегрессионной модели первого порядка, сопоставления будущего значения функции ассоциативности с известной точкой первого ВР. Схема разработанного алгоритма представлена на рисунке 2.

При разработке модели результативности САМ-обучения с применением анализа ВР необходимо проводить качественный анализ полученных знаний, «выражающийся в измерении конкретных параметров и построенных на их основе ВР» [12, 15, 16]. В нашем случае под САМ-обучением мы понимаем динамический процесс по получению необходимых квалификационных навыков для автоматизированного создания корректных УП для станков с ЧПУ. Сформированность навыков оценивалась при самостоятельном выполнении обучающимися задач. Под корректностью УП понимается отсутствие столкновений режущего инструмента с заготовкой и элементами специального технологического оснащения; минимизация смен позиций режущего инструмента; безопасность всех перемещений режущего инструмента на «быстром ходе» (при максимально возможных подачах).

### 3.3 Разработка метрики учебных заданий с учетом сложности САМ-обработки

Задача создания метода оценки результативности обучающего курса состоит в подборе метрики учебных заданий с учетом сложности САМ-обработки, которые в полной мере охватывают все типовые детали по механообработке. Фрагмент метрики САМ-обработки представлен в таблице 1.

Эти задачи с ростом сложности мотивируют обучающихся на более широкий и неординарный подход к их решению. Финальным этапом в обучении становится следующая ролевая игра. Обучающиеся делятся на группы



Рис. 2. Алгоритм поиска недостающих данных ВР на основе САП-трансформ

по 2 человека, один из которых принимает на себя роль инженера-конструктора, спроектировавшего деталь для механообработки на станке с ЧПУ, второй – принимает роль инженера-технолога, которому необходимо составить УП на данную деталь. В ходе работы они должны взаимодействовать между собой, решая задачи по упрощению конструкции детали и совместному проектированию УП. Со стороны преподавателя-модератора после выполнения задания выставляется оценка работе каждой группы, которая в общей картине профессиональной квалификации имеет больший вес. Более детально процесс написания УП был рассмотрен и изложен в статье [13].

Фрагмент метрики САМ-обработки

Наименование конструктивного элемента	Характеристика элемента, которая может повлиять	Условие влияния, усложняющего механообработку
Паз имеет постоянную ширину	ширина	Если соотношение глубина/ширина $\geq 2$
	глубина	
	скругление	Если соотношение ширина/величина скругления $\geq 3$ , то «подчистка углов»
Карман = колодец (внешний ограничивающий контур всегда замкнут и дно расположено ниже плоскости привязки)	Толщина стенок пола	Если толщина стенок пола $< 2,5$ , то рисуем отдельные ребра жесткости, которые потом срезаем
	Радиус в углах стенок	Если соотношение ширина/величина радиуса $\geq 3$
Скос (наклонная поверхность)	Угол	Угол между скосом и верхней поверхностью нестандартный, то или использовать обработку 3+2, или раскатывать поверхность сферической фрезой

#### 4 АПРОБАЦИЯ НОВОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ САМ-ОБУЧЕНИЯ

Созданные метрика, алгоритм и методика оценки результативности нашли свою реализацию в разработанных методических указаниях к практическим и лабораторным работам для студентов машиностроительного профиля с апробацией их при проведении специального курса для первого и пятого курсов студентов самолетостроительного факультета направления подготовки «Самолето- и вертолетостроение» Института авиационных технологий и управления Ульяновского государственного технического университета в 2015–2016 годах, а также при обучении студентов Ульяновского авиационного колледжа по соответствующему профилю.

При проведении эксперимента по оценке созданных алгоритмов и методике обучения были определены следующие ключевые моменты.

Гипотеза эксперимента:

1. Эффективность обучения автоматизированному проектированию УП для станков с ЧПУ будет выше с применением разработанной методики.

2. С ростом квалификации обучаемого время, затраченное на выполнение задания, будет сокращаться в более быстром темпе по сравнению с известными методами обучения и оценки обученности одновременно с уменьшением количества неточностей и ошибок при выполнении задания.

Для проведения эксперимента были созданы две группы студентов. Каждая группа была разделена на две подгруппы: контрольную и экспериментальную. Перед разделением определялся общий уровень подготовленности по специально разработанному «опроснику», вопросы в котором были построены с учетом структуры обучения и разделов, которые будут рассмотрены в ходе обучения.

Первая (контрольная группа) обучалась на основе общепринятой методики обучения написанию УП для станков с ЧПУ, носящей репродуктивный характер и отражающей овладение предметными знаниями и умениями. Т. к. применительно к САПР Unigraphics таких методических указаний еще не разработано, то они были разработаны с использованием [17]. Адаптация заключалась в замене всей интерфейсной части САПР АДЕМ на интерфейсную часть САПР Unigraphics и соответствующего функционала. Вторая (экспериментальная) группа проходила обучение по разработанной методике. Под решением задач предполагались выстраивание типовых ситуаций при САМ-обработке, обсуждение их решений, причинно-следственных связей и их практическая реализация в САПР Unigraphics. Для организации коммуникации на основе унифицированной терминологии был использован справочник [18]. По ходу обучения преподаватель в обеих группах в качестве контрольных (референтных) точек выдавал задание на самостоятельное выполнение, контролировал результат их выполнения и попутно вел журнал, в котором отражал:

- время выполнения задания;
- класс сложности выполняемого задания;
- количество неточностей и ошибок при выполнении задания;
- количество операций в САМ-обработке.

Полученные количественные результаты являются ВР, на основе которых была проанализирована взаимосвязь между временем, затраченным студентом на создание САМ-обработки, и его конечной квалификацией. В каждой группе испытуемых велись записи по каждому студенту, в котором отмечались: время выполнения контрольного задания, количество допущенных ошибок при его выполнении и количество разработанных переходов. Таким об-



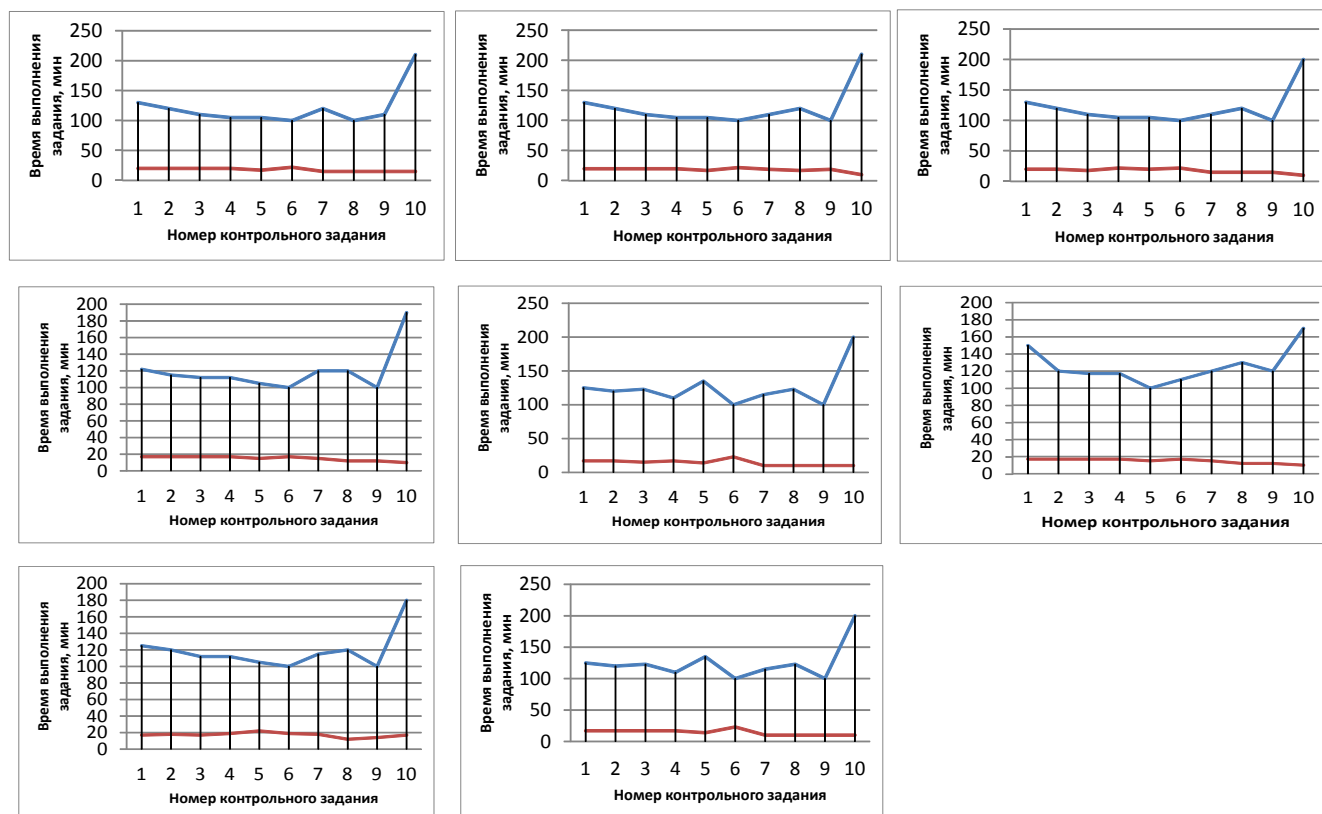


Рис. 3. Графики ассоциативных функций по каждому из студентов первой группы

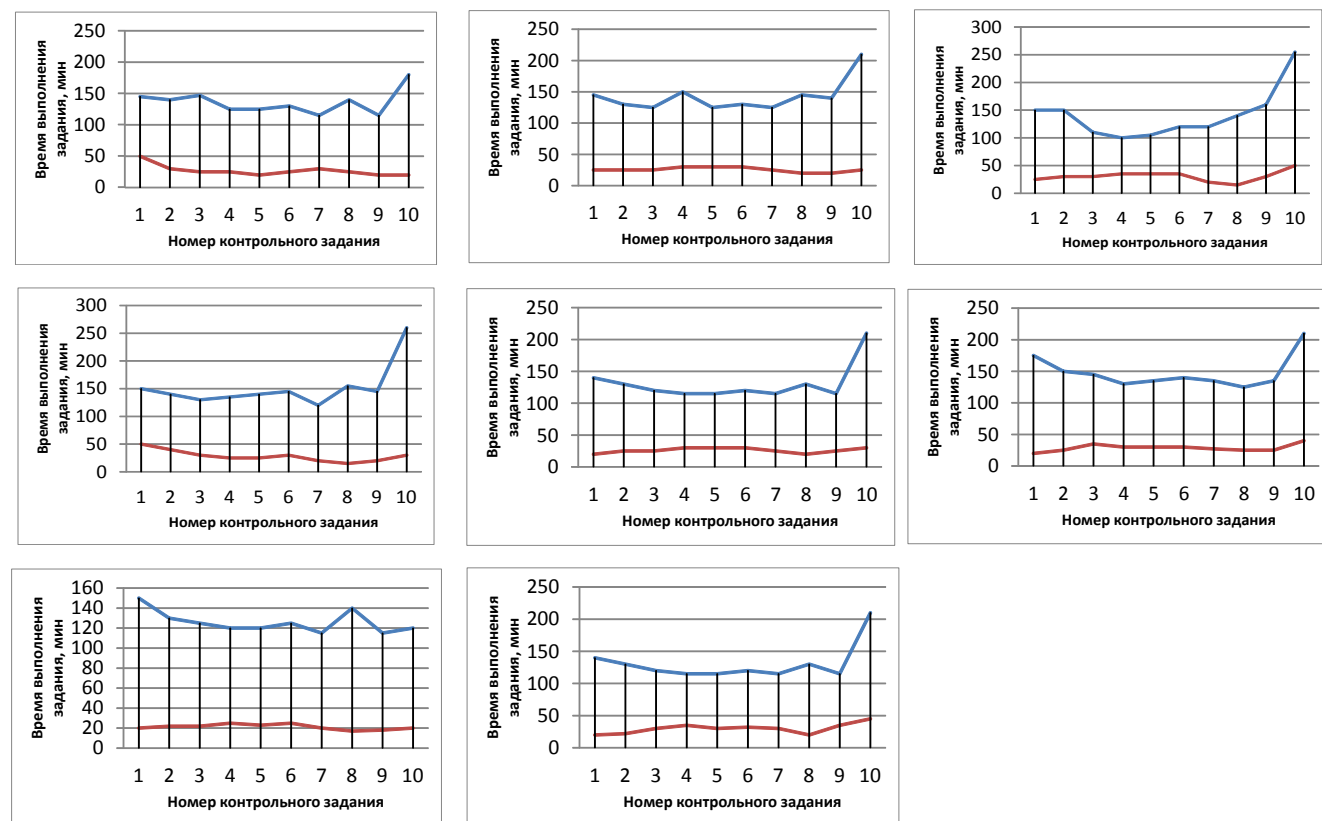


Рис. 4. Графики ассоциативных функций по каждому из студентов второй группы

разом, были получены 168 ВР в первой группе и 210 ВР во второй, контрольной, группе. Анализировались и показатели по результатам входного контроля знаний в первой и второй группах. Выходной контроль представляет собой специальный опросник и показывает, были ли усвоены знания и представляется ли возможным говорить о росте квалификации.

Из графиков (рис. 3 и 4) видно, что во второй группе результаты хуже, в среднем, на 14,75%, а именно хуже в следующем:

1. Количество ошибок у испытуемых в среднем больше на 3–5 единиц;

2. Время, затраченное на выполнение контрольного задания, больше в среднем на 20–25 минут;

3. Количество переходов больше, в среднем, на 5–7 единиц.

### Выводы

Таким образом, предложенный в данной работе подход при оценке эффективности процесса обучения САМ-обработке студентов машиностроительного профиля базируется на собственных разработанных методических указаниях и учитывает динамический характер самого процесса обучения. В ходе создания методики обучения САМ-обработке была разработана метрика сложности самой САМ-обработки и предложен новый алгоритм динамической оценки на основе ассоциации между ВР. Также в данной работе представлены практические результаты оценки эффективности обучения написанию УП для станков с ЧПУ с применением метода скользящих аппроксимаций и последующим построением ассоциативной функции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tanaka H., Uejima S., Asai K. Linear Regression Analysis with Fuzzy Model // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. – 1982. – Vol. 12. – pp. 903–907.
2. Kacprzyk J., Wilbik A., Zadrozny S. Linguistic Summarization of Time Series by Using the Choquet Integral // *Proceedings of 12th Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA'2007, Cancun, Mexico, June 18–21, 2007) Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic*. – New York: Springer Verlag, 2007.
3. Pedrycz W., Smith M.H. Granular Correlation Analysis in Data Mining // *Proceedings of IEEE International Fuzzy Systems Conference, Korea*. – 1999. – Vol. III. – IH-1240.
4. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин [и др.]; под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М.: Физматлит, 2007. – 208 с.
5. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.
6. Ковалев С.М. Гибридные нечетко-темпоральные модели временных рядов в задачах анализа и идентификации слабо формализованных процессов // *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: тр. IV-й Междунар. науч.-практ. конф. (Коломна, 28–30 мая 2007 г.)*. – М.: Физматлит, 2007. – Т.1. – С. 26–41.

7. Юнусов Т.Р., Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В. Моделирование трафика терминал-сервера на основе анализа нечетких тенденций временных рядов // *Программные продукты и системы*. – 2007. – № 4. – С. 15–19.

8. Xie C., Zhang Z., Nourian S., Pallant A. and Hazzard E. A Time Series Analysis Method for Assessing Engineering Design Processes Using a CAD Tool. *The International Journal of Engineering Education*. – 2014. – Vol. 30. – pp. 218–230.

9. Ярушкина Н.Г. Нечёткие нейронные сети (часть 1) // *Новости искусственного интеллекта*. – 2001. – № 2–3. – С. 47–52.

10. Ярушкина Н.Г. Методы нечетких экспертных систем в интеллектуальных САПР. – Саратов, 1997. – 107 с.

11. Бионические информационные системы и их практические применения / В.В. Курейчик [и др.]. – М., 2011. – 287 с.

12. Барабанова Е.Ю. Оценка эффективности процесса обучения САМ-обработке студентов машиностроительного профиля // *Матер. VI междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 18–20 февраля 2016 г.)* / редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУИР, 2016. – С. 517–521.

13. Построение информационной поддержки автоматизированного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ / Е.Ю. Барабанова, В.А. Башаев, В.В. Клейн, В.С. Мошкин // *Радиотехника*. – 2015. – № 6. – С. 63–67.

14. Селезнев В.А. Комплексные показатели оценки эффективности освоения конструкторско-технологических компьютерных систем // *Вестник Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского*. – 2012. – № 1 (1). – С. 329–334.

15. Интегральный метод принятия решений и анализа нечетких временных рядов / В. Новак, И. Перфильева, Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева // *Программные продукты и системы*. – 2008. – № 4. – С. 18.

16. Ярушкина Н.Г., Перфильева И.Г., Афанасьева Т.В. Интеграция нечетких моделей для анализа временных рядов // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. – 2010. – Т. 12, № 4–2. – С. 506–509.

17. Вальтер А.В., Сапрыкин А.А. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «САПР ТП» для студентов специальности 151001 «Технология машиностроения». – Юрга: ИПЛ ЮТИ ТПУ, 2006. – 16 с.

18. Башаев В.А., Полисанова О.С. Учебный справочник технического переводчика: станки с ЧПУ. – Ульяновск, 2011. – 100 с.

### REFERENCES

1. Tanaka H., Uejima S., Asai K. Linear Regression Analysis with Fuzzy Model. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1982, vol. 12, pp. 903–907.
2. Kacprzyk J., Wilbik A., Zadrozny S. Linguistic Summarization of Time Series by Using the Choquet Integral. *Proceedings of 12th Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA'2007, Cancun, Mexico, June 18-21, 2007)*. *Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic*. New York, Springer Verlag, 2007.

3. Pedrycz W., Smith M.H. Granular Sorrelation Analysis in Data Mining. *Proceedings of IEEE International Fuzzy Systems Conference*. Korea, 1999, vol. III, IH-1240.
4. Batyrshin I.Z. et al. *Nechetkie gibridnye sistemy. Teoriia i praktika. Pod red. N.G. Yarushkinoi* [Fuzzy Hybrid Systems. Theory and Practice. Edited by N.G. Yarushkina]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 208 p.
5. Yarushkina N.G. *Osnovy teorii nechetkikh i gibridnykh sistem* [Fundamentals of the Fuzzy and Hybrid Systems Theory]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2004. 320 p.
6. Kovalev S.M. Gibridnye nechetko-temporalnye modeli vremennykh riadov v zadachakh analiza i identifikatsii slabo formalizovannykh protsessov [Gybrid Fuzzy Temporal Models of Time Series in Problems of Analysis and Identification of Ill-Defined Processes]. *Integrirovannye modeli i miagkie vychisleniia v iskusstvennom intellekte: tr. IV-i Mezhdunarodnoi nauch.-prakt. konf. (Kolomna, 28–30 maia 2007)* [Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence. Proc. of the 4th Int. Sci. Conf. (Kolomna, May 28-30, 2007)]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007, vol. 1, pp. 26–41.
7. Yunusov T.R., Yarushkina N.G., Afanaseva T.V. Modelirovanie trafika terminal-servera na osnove analiza nechetkikh tendentsii vremennykh riadov [The Modeling of Terminal-Server Traffic based on the Analysis of Fuzzy Tendencies of Time Series]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2007, no. 4, pp. 15–19.
8. Xie C., Zhang Z., Nourian S., Pallant A. and Hazzard E. A Time Series Analysis Method for Assessing Engineering Design Processes Using a CAD Tool. *The International Journal of Engineering Education*, 2014, vol. 30, pp. 218-230.
9. Yarushkina N.G. Nechetkie neironnye seti (chast 1) [Fuzzy Neural Network (Part 1)]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [Artificial Intelligence News], 2001, no. 2–3, pp. 47–52.
10. Yarushkina N.G. *Metody nechetkikh ekspertnykh sistem v intellektualnykh SAPR* [Methods for Fuzzy Expert Systems in Intellectual CAD-Systems]. Saratov, Saratov University Publ., 1997. 107 p.
11. Kureichik V.V. et al. *Bionicheskie informatsionnye sistemy i ikh prakticheskie primeneniia* [Bionic Information Systems and Their Practical Application]. Moscow, 2011. 287 p.
12. Barabanova E.Iu. Otsenka effektivnosti protsessa obrabotki studentov mashinostroitel'nogo profilia [The Estimation of the Efficiency of CAM-Processing Educational Process for the Students of Machine Building Specialization]. *Mater. VI mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. (Minsk, 18-20 fevralia 2016 goda)* [Proc. of the 6th Int. Sci. Conf. (Minsk, February 18-20, 2016)]. Minsk, BGUIR Publ., 2016, pp. 517–521.
13. Barabanova E.Iu., Bashaev V.A., Klein V.V., Moshkin V.S. Postroenie informatsionnoi podderzhki avtomatizirovannogo proektirovaniia upravliaiushchikh programm dlia stankov s ChPU [The Construction of Information Support for Comuter-Aided Design of Control Programs for CNC-Machines]. *Radiotekhnika* [Radioengineering], 2015, no. 6, pp. 63–67.
14. Seleznev V.A. Kompleksnye pokazateli otsenki effektivnosti osvoeniia konstruktorsko-tekhnologicheskikh kompiuternykh sistem [Comprehensive Performance Assessment of the Effectiveness of the Development Process Design of Computer Systems]. *Vestnik Brianskogo gosudarstvennogo universiteta im. akad. I.G. Petrovskogo* [The Bryansk State University Herald], 2012, no. 1, pp. 329–334.
15. Novak V., Perfileva I., Yarushkina N.G., Afanaseva T.V. Integralnyi metod priniatiia reshenii i analiza nechetkikh vremennykh riadov [The Decision-Making Technique and Analysis of Fuzzy Time Series]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software & Systems], 2008, no. 4, pp. 18.
16. Yarushkina N.G., Perfileva I.G., Afanaseva T.V. Integratsiia nechetkikh modelei dlia analiza vremennykh riadov [Fuzzy Models' Integration in Time Series Analysis]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Proc. of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, vol. 12, no. 4–2, pp. 506–509.
17. Valter A.V., Saprykin A.A. *Metodicheskie ukazaniia k vypolneniiu laboratornykh rabot po kursu 'SAPR TP' dlia studentov spetsialnosti 151001 'Tekhnologiiia mashinostroeniia'* [Methodical Guidelines for Laboratory Work Implementation on SAPR TP Course for the Students of the Specialty for 151001 Machinebuilding Technology]. Yurga, IPL YuTI TPU Publ., 2006. 16 p.
18. Bashaev V.A., Polisanova O.S. *Uchebnyi spravochnik tekhnicheskogo perevodchika. Stanki s ChPU* [Educational Guide for Technical Translator. CNC-Machines]. Ulyanovsk, 2011. 100 p.